

- Zhou, W.-J. Highly Selective Liquid-Phase Oxidation of Cyclohexane to KA Oil over Ti-MWW Catalyst: Evidence of Formation of Oxy Radicals [Text] / W.-J. Zhou, R. Wischert, K. Xue, Y.-T. Zheng, B. Albela, L. Bonneviot, J.-M. Clacens, F. De Campo, M. Pera-Titus, P. Wu // ACS Catalysis. – 2013. – Vol. 4, Issue 1. – P. 53–62. doi: 10.1021/cs400757j
- Ivashchuk, O. Chelates in the oxidation process of cyclohexane [Text] / O. Ivashchuk, V. Reutsky, S. Mudryy // 14th International Symposium of Students and Young Mechanical Engineers. Vol. I. – Gdansk, Poland ACME, 2011. – P. 238–241.
- Супрун, О. О. Використання амінокислот в процесі окиснення циклогексану [Текст] / О. О. Супрун, В. В. Реутський, О. С. Івашук, С. О. Мудрий // Вісник НУ „Львівська політехніка”. Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2014. – № 787. – С. 187–190.
- Мудрий, С. О. Гомогенно каталітичне окиснення циклогексану в присутності азотовмісних добавок [Текст] : тез. доп. міжнар. наук. конф. / С. О. Мудрий, В. В. Реутський, О. С. Івашук, О. О. Супрун // Донецьк МРПС, 2011. – С. 77.
- Karabach, Y. Y. Copper (II) coordination polymers derived from triethanolamine and pyromellitic acid for bioinspired mild peroxidative oxidation of cyclohexane [Text] / Y. Y. Karabach, A. M. Kirillov, M. Haukka, M. N. Kopylovich, A. J. L. Pombeiro // Journal of Inorganic Biochemistry. – 2008. – Vol. 102, Issue 5-6. – P. 1190–1194. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2007.11.007
- Park, O.-S. Gif-KRICT Biomimetic Oxidation of Cyclohexane The Influence of Metal Oxides [Text] / O.-S. Park, S.-S. Nam, S.-B. Kim, K.-W. Lee // Bull. Korean Chem. Soc. – 1999 – Vol. 20, Issue 1. – P. 49–52.
- Ebadi, A. Aerobic oxidation of cyclohexane with g-alumina supported metallophthalocyanines in the gas phase [Text] / A. Ebadi, N. Safari, M. H. Peyrovi // Applied Catalysis A: General. – 2007. – Vol. 321, Issue 2. – P. 135–139. doi: 10.1016/j.apcata.2007.01.040

Статтю присвячено дослідженню кінетичних закономірностей процесу екстрагування соняшникової макухи нетрадиційним розчинником – етиловим спиртом. Оцінено вплив технологічних факторів (гідромодулю, тривалості екстракції та структури олійного матеріалу) на кінетику вилучення соняшникової олії та концентрацію одержаної місцели. Визначено коефіцієнт внутрішньої дифузії в залежності від структури макухи у порівнянні з аналогічним показником гексанової екстракції

Ключові слова: етанольна екстракція, соняшникова макуха, кінетика, внутрішня дифузія, олійність, концентрація місцели

Статья посвящена исследованию кинетических закономерностей процесса экстракции подсолнечного жмыха нетрадиционным растворителем – этиловым спиртом. Оценено влияние технологических факторов (гидромодуля, продолжительности экстракции и структуры материала) на кинетику извлечения подсолнечного масла и концентрацию полученной мисцеллы. Определен коэффициент внутренней диффузии в зависимости от структуры жмыха в сравнении с аналогичным показателем гексановой экстракции

Ключевые слова: этанольная экстракция, подсолнечный жмых, кинетика, внутренняя диффузия, масличность, концентрация мисцеллы

УДК 665.1.09

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30426

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ЕКСТРАГУВАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ МАКУХИ ЕТИЛОВИМ СПИРТОМ

П. Ф. Петік

Кандидат технічних наук, директор**

E-mail: petik@fatoil-kharkov.com

В. В. Гірман

Завідувач відділу*

E-mail: girman@fatoil-kharkov.com

О. В. Мазур

Кандидат технічних наук, зав. сектору*

E-mail: lmgm@mail.ru

*Відділ досліджень технологій олійно-екстракційного виробництва

**Український науково-дослідний інститут олій та жирів НААН
пр. Дзюби 2-А, м. Харків, Україна, 61019

1. Вступ

Економічну, в тому числі і продовольчу безпеку держави, у першу чергу, визначає її ресурсно-виробничий потенціал. За відносно короткий термін олієвидобувний комплекс України в значній мірі оновив свій виробничий потенціал, завдяки чому обсяг виробленої соняшникової олії досяг величини 8–10 млн. т/рік і Україна стала світовим лідером з її експорту. Основ-

ний спосіб виробництва рослинних олій в Україні – екстракційний і традиційно він чиниться за допомогою нафтових розчинників [1, 2].

Необхідність і доцільність застосування етилового спирту у технологічному процесі олієжирового виробництва обумовлена декількома причинами: низьким рівнем (~50 %) використання виробничого потенціалу у спиртовій галузі; більш ніж у два рази нижчою ціною етанолу у порівнянні з нафтовими розчинниками; су-

часними тенденціями в харчуванні людини, які передбачають, зокрема, перехід до споживання так званих «органічних продуктів». Етанол є загальновідомою харчовою речовиною в межах норми безпечного для здоров'я людини споживання і навіть дозволений для використання як консервант у кількості 0,3 % [3]. Тому наукові дослідження, спрямовані на розробку науково обґрунтованої технології видобування соняшникової олії методом етанольної екстракції є актуальними.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В оглядовій роботі [4] розглянуто основні способи екстракції рослинних олій стосовно існуючої промислової апаратури і вуглеводневих розчинників (бензин, гексан, гептан та ін.). Останнім часом у промислових або камеральних умовах проводяться роботи з екстракції рослинних олій альтернативними розчинниками: ізопропіловим спиртом, ацетоном, етиловим спиртом, бінарними сумішами органічних розчинників або їх сумішами з водою, зрідженими газами або суперкритичними рідинами [5]. Використання нових видів розчинників є основою зниження енергоємності виробництва, оскільки вони, як правило, виробляються з відходів інших галузей промисловості.

Виробництво етилового спирту в Україні значно перевищує потреби нашої країни. Тому пошук нових сфер використання етанолу є актуальною науково-прикладною проблемою, важливість якої обумовлено Постановою Кабінету Міністрів України щодо спрямування етилового спирту на технічні потреби [6]. Головні технологічні особливості застосування етилового спирту у виробництві та переробці рослинних олій у зв'язку зі зміною пріоритетів у олійно-жировій промисловості зазначено в роботі [7].

Не дивлячись на те, що екстракція етиловим спиртом різних олійних культур доволі відома, вона зазвичай стосується екстракції соєвої, кукурудзяної, бавовняної, ріпакової та більш екзотичних рослинних олій [8].

Відомо дві закордонні роботи [9, 10] присвячено екстракції соняшнику етанолом, але й вони вирішують вузько спеціальні питання і не висвітлюють проблему застосування етилового спирту як повноцінного екстрагенту рослинних олій.

Серед вітчизняних робіт, присвячених дослідженню етанольної екстракції соняшникової олії, слід відмітити наступні. Так, у статті [11] розглядається доцільність використання абсолютного етилового спирту для екстракції, а також можливість оцінки його рафінаційного ефекту відносно нерафінованої соняшникової олії.

Роботу [12] присвячено проблемі порівняння процесів екстрагування соняшникової макухи різними органічними розчинниками (абсолютним етиловим спиртом, петролейним та діетиловим ефірами) та виявлено, що швидкість вилучення екстрактивних речовин у разі застосування етанолу є суттєво нижчою і відрізняється великим значенням гідромодулю.

У науковій публікації [13] наведено результати виявлених закономірностей екстрагування олії та інших речовин з макухи соняшнику абсолютним етиловим спиртом, зокрема, визначено кількість екстрак-

тивних етанол розчинних речовин – $29,1 \pm 1,7$ % при початковій олійності 15,7 % за умови використання 98,0–99,5 %-вого етанолу після трьох та шести стадій екстрагування (гідромодуль 1:4 і 1:10 відповідно).

Далі цим же автором [14, 15] зроблено спробу оцінити вплив таких чинників як концентрація спирту, вологість сировини, температура процесу, об'ємна витрата та організація потоку екстрагенту на динаміку вилучення екстрактивних речовин макухи соняшнику та їх фракційний склад. Зроблені в роботі висновки можуть бути використані для вибору меж інтервалів варіювання чинників при математичному плануванні дослідів з етанольної екстракції олійних матеріалів.

Питання кількісної оцінки розчинності основних речовин соняшникової олії у концентрованому етиловому спирті за низьких температур, що має практичне значення для технології етанольної екстракції, а саме для стадії регенерування розчинника перед повторним його застосуванням, було розглянуто у роботі [16]. Зокрема встановлено, що в діапазоні температур від 50°C до -30°C залежність розчинності соняшникової олії у концентрованому етанолі має експоненційний характер. Для зазначеного температурного інтервалу отримано математичну модель для розрахунку розчинності соняшникової олії у етиловому спирті концентрацією від 94,0 до 99,6 %.

Таким чином, попередні роботи присвячено спробам накопичити наукові дані щодо кількісної оцінки етанол розчинних речовин продуктів переробки насіння соняшнику, кінетики їх екстрагування, обґрунтування деяких технологічних параметрів етанольної екстракції в залежності від форми олійного матеріалу і т. ін.

Для майбутньої технології етанольної екстракції соняшникової олії на сучасному етапі важливими є виявлення основних закономірностей процесу, який управляється законами конвективної та молекулярної дифузії, і виявити їх легше експериментальним шляхом, ніж шляхом теоретичного вивчення.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є визначення кінетичних та дифузійних закономірностей екстрагування соняшникової олії ступінчастим зрошенням олійного матеріалу етиловим спиртом.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- створити лабораторну стендову установку екстрактору за схемою багаторазового протічального ступеневого зрошення;
- визначити основні технологічні та структурні показники олійного матеріалу;
- дослідити кінетику екстрагування соняшникової макухи зрошенням етиловим спиртом;
- виявити дифузійні закономірності процесу етанольного екстрагування соняшникової макухи.

4. Матеріали і методи дослідження

Основні матеріали досліджень – промислові зразки олійного матеріалу – соняшникової макухи у вигляді

гранул Пересічанського олієекстракційного заводу (ОЕЗ) (далі зразки 1–3) та макухової крупки Волчанського ОЕЗ (зразок 4); екстрагент – спирт етиловий ректифікований за ДСТУ 4221 [17].

Технологічні та структурні показники зразків соняшникової макухи визначали за діючими в олієжировій промисловості методиками: олійність та вологість макухи – за ГОСТ 30131 [18]; коефіцієнт фільтрації та спиртоємність – за методикою [19]; коефіцієнт пористості – за методикою [20].

Олійність та вологість одержаного після екстрагування шроту – за ГОСТ 30131 [18].

Для виконання досліджень було спроектовано і виготовлено стендову установку лабораторного екстрактору, який працює за принципом багаторазового протічетийного ступеневого зрошення, схему якого наведено на рис. 1.

- 1..8 – Комірки екстракції;
9.1..... 9.8 – Крани подачі розчинника;
10.1..... 11.8 – Крани зливу місцели;
11.1..... 11.8 – Крани, що з'єднують комірки;
12 – Термостат;
13 – Емність для розчинника;
14 – Шестеренний насос;
15 – Ротаметр;
16 – Теплообмінник;
17 – Емність для зливу.
- Розчинник, місцела;
— Вода;
⊕ Термодатчик;
⊖ Термометр.

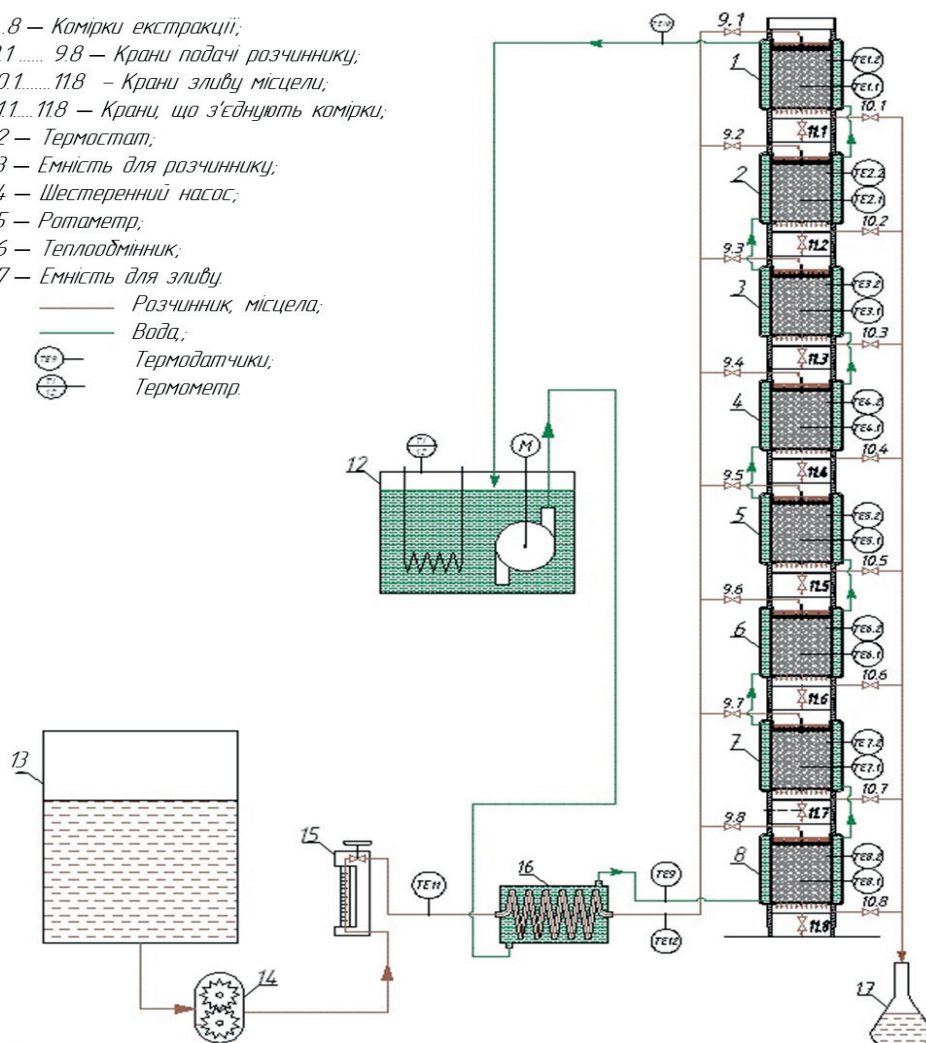


Рис. 1. Схема установки для проведения экстракції

Установка складається з 8-ми ступенів екстрагування із загальним об'ємом комірок, розрахованим на масу соняшникової макухи в 1000 г. В лабораторному екстракторі передбачено подачу розчинника і збір місцели на кожному ступені. У днищі кожної комірки є пристрій, який передбачає перетікання місцели до комірки, яка розташована нижче. Для

регулювання подачі розчинника, яка забезпечується шестиренним насосом, передбачено ротаметр, діапазон роботи якого складає 0,91–6,39 л/год. Рівномірне розподілення розчиннику по всій площині екстрактору здійснюється за рахунок розподільчих решіток.

У екстракторі передбачено підігрівання розчиннику і макухи за допомогою гарячої води, яка циркулює в системі термостат-теплообмінник-екстрактор. Температуру води контролюють відповідно у трьох точках: на термостаті (термометр Т1), виході з теплообміннику (термодатчик ТЕ9) та виході з колони екстрактору (термодатчик ТЕ10). У змієвоку цього ж теплообміннику здійснюється підігрів розчиннику до температури, яку також контролюють (термодатчики ТЕ11-ТЕ12). Температуру соняшникової макухи контролюють упродовж всього експерименту за допо-

могою термодатчиків (від ТЕ1.1, 1.2 до ТЕ8.1, 8.2), які конструктивно розташовано у центрі та периферії кожної комірки. Показання термодатчиків виводять на монітор комп'ютера з побудовою графічної залежності $t=f(\tau)$ по кожному датчику.

Обробку результатів експериментальних досліджень здійснено за допомогою програмних пакетів Microsoft Excel та MathCad.

5. Результати досліджень кінетики екстрагування соняшникової макухи етанолом

На першому етапі досліджень визначено основні технологічні (олійність та вологість) та структурні (спиртоємність, коефіцієнти пористості та фільтрації) показники промислових зразків соняшникової макухи (табл. 1).

Для дослідження кінетики вилучення соняшникової олії зрошенням макухи етиловим спиртом було проведено чотири експерименти.

Для виконання першого експерименту в екстрактор завантажували гранули макухи (зразок 1) у кількості 125 г на кожену комірку. Перед власне екстрагуванням олійний матеріал підігрівали до $t=78^\circ\text{C}$ впродовж 30 хв. В першому експерименті гідромодуль (співвідношення макуха:етанол) склав 1:4; термін екстрагування – 75 хв; швидкість подачі розчинника 72 мл/хв.

Таблиця 1
Технологічні та структурні показники соняшникової макухи

Зразок	Олійність, %	Вологість, %	Спиртоємність, %	Коефіцієнт пористості, долі од.	Коефіцієнт фільтрації, см/с
1	18,37	6,01	29,0	0,729	3,356
2	18,37	2,60	29,0	0,729	3,356
3	18,37	2,60	29,0	0,729	3,356
4	25,68	7,28	32,0	0,624	3,183

Підігрітий до $t=78\text{ }^{\circ}\text{C}$ етиловий спирт подавали на поверхню, першу комірку колони екстрактору. Час початку досліджень починався з моменту, коли перша крапля розчинника витікала з екстракційної колони. Збір міцели з першого ступеню чинився у градуйовану колбу № 1 через зливний кран першої комірки, термін наповнення – 10 хв (термін екстрагування на першому ступені).

Після цього закривали зливний кран першої комірки та відкривали кран між першою та другою ступенями. Міцелу відбирали у колбу № 2 через зливний кран другої комірки протягом 10 хв.

Такий же перебіг екстрагування чинився по іншим коміркам з 3-ої по 8-му; час екстракції коливався в діапазоні (8–15 хв). Після закінчення досліджень екстрактор розвантажували і в кожній пробі визначали концентрацію міцели, а у знежиреному матеріалі – олійність та вологість.

Для виконання другого експерименту гранули соняшникової макухи з початковою вологістю 6,01 % висушили до вологості 2,6 %. Технологічні параметри екстрагування не змінювались.

У третьому експерименті було змінено гідромодуль (1:2) та термін екстрагування подовжили до 90 хв.

Під час четвертого експерименту використано соняшкову макуху у вигляді крупки (зразок 4). Технологічні параметри екстрагування відповідали умовам першого експерименту.

Результати експериментів 1–4 представлено в табл. 2, в якій відображено зміну концентрації міцели за ступенями екстрагування.

Таблиця 2
Концентрація міцели за ступенями екстрагування

Ступінь екстракції	Концентрація міцели, %			
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
1	1,94	2,22	2,85	2,74
2	3,16	3,78	5,84	5,19
3	3,39	4,53	7,48	8,02
4	4,23	4,87	8,42	9,12
5	4,60	5,20	9,31	9,58
6	5,25	5,83	10,82	9,68
7	6,83	7,21	11,40	9,72
8	7,94	8,16	11,71	9,84

На рис. 1 представлено зміну олійності соняшникової макухи від терміну екстрагування.

Відомо [21, 22], що екстрагування рослинних олій чиниться переважно в режимі внутрішньої (молекулярної) дифузії. Для кількісної оцінки швидкості екстрагування соняшникової олії етиловим спиртом доцільним є визначення коефіцієнту внутрішньої дифузії.

Для цього достатньо розглянути зміну середньої за об'ємом олійного матеріалу (макухи) концентрації олії, що вилучається. Для практичних цілей екстракції справедливим є рівняння:

$$\frac{M_i}{M_0} = A \cdot e^{-bt}, \quad (1)$$

де M_i – залишкова олійність макухи після екстрагування за час t_i , %; M_0 – початкова олійність макухи, %; A і b – константи.

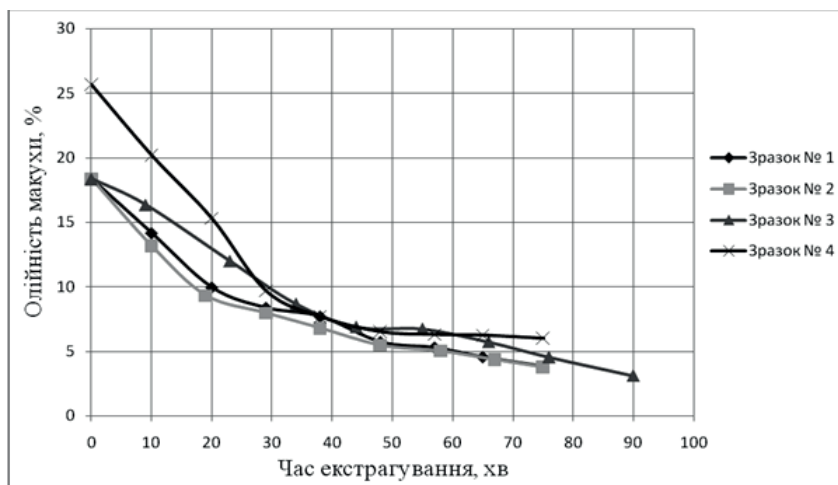


Рис. 2. Кінетика екстрагування соняшникової макухи етиловим спиртом

Логарифмування рівняння (1) приводить до співвідношення, яке дозволяє на підставі експериментальних даних визначити величину коефіцієнту внутрішньої дифузії:

$$\lg \frac{M_i}{M_0} = \lg A - b \cdot t. \quad (2)$$

Коефіцієнт (b) в рівнянні (2) зв'язаний з коефіцієнтом внутрішньої дифузії (D) складною залежністю [23], на підставі якої складено алгоритм вирішення задачі за допомогою пакету прикладних програм MathCad [24].

Для розрахунку коефіцієнту внутрішньої дифузії у всіх 4-х експериментах побудовано графіки залежності $\lg \frac{M_i}{M_0}$ від часу екстрагування (за даними рис. 1).

Одержано прямі лінії загального виду $y = -b \cdot x + a$, які описуються такими рівняннями (3)–(6):

$$y = 1,2103 - 0,0821 \cdot x, \quad R^2 = 0,9742, \quad (3)$$

$$y = 1,1863 - 0,0817 \cdot x, \quad R^2 = 0,9628, \quad (4)$$

$$y = 1,2640 - 0,0919 \cdot x, R^2 = 0,9751, \quad (5)$$

$$y = 1,3284 - 0,0832 \cdot x, R^2 = 0,8772, \quad (6)$$

де R^2 – середньоквадратичне відхилення експериментальних даних.

Коефіцієнти внутрішньої дифузії розраховано за допомогою спеціально створеної програми [23] і представлено в табл. 3 у порівнянні з коефіцієнтами пористості та фільтрації, які залежать від структури олійного матеріалу.

Таблиця 3

Значення коефіцієнту внутрішньої дифузії соняшникової олії під час спиртової екстракції макухи

Зразок	Коефіцієнт пористості, долі од.	Коефіцієнт фільтрації, см/с	Коефіцієнт внутрішньої дифузії, $\text{см}^2/\text{с}$
1	0,729	3,356	$1,54 \cdot 10^{-5}$
2	0,729	3,356	$1,57 \cdot 10^{-5}$
3	0,729	3,356	$1,72 \cdot 10^{-5}$
4	0,624	3,183	$0,70 \cdot 10^{-5}$

Таким чином, чим кращою є структура соняшникової макухи (вище показники пористості та фільтрації), тим вище коефіцієнт внутрішньої дифузії, а, значить, з більшою швидкістю чиниться процес екстрагування і зменшується олійність одержаного шроту (рис. 2). Абсолютне значення коефіцієнту внутрішньої дифузії під час спиртової екстракції гранульованої макухи складає $(1,54-1,72) \cdot 10^{-5}$, а для гексанової екстракції він складає $(0,76-0,98) \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$ [24].

6. Обговорення результатів дослідження кінетики екстрагування соняшникової олії з макухи зрошенням етиловим спиртом

Перевагою проведеного дослідження є те, що вперше в лабораторних умовах створено фізичну модель

процесу екстрагування соняшникової макухи методом протитечійного зрошення етиловим спиртом із дотриманням технологічних параметрів, близьких класичним; досліджено кінетику екстрагування та оцінено швидкість цього процесу за допомогою коефіцієнту внутрішньої дифузії.

Недоліком дослідження слід вважати відсутність порівняльної характеристики одержаних даних з даними традиційної гексанової екстракції.

Результати даного дослідження започаткують наукове підґрунтя нової технології рослинних олій за допомогою етилового спирту, а науково-дослідні роботи в цьому напрямку будуть продовжені.

7. Висновки

На основі систематизації наукових знань з етапної екстракції рослинних олій та результатів попередніх експериментальних досліджень сформульовано робочу гіпотезу щодо необхідності виявлення основних закономірностей процесу екстрагування етиловим спиртом експериментальним шляхом.

За допомогою спеціально створеної лабораторної установки досліджено кінетику екстрагування етиловим спиртом промислових зразків соняшникової макухи і виявлено, що кращі результати досягнуто за умови гідромодулю 1:2 і терміну екстракції 90 хв: залишкова олійність шроту складає 3,1 %, а концентрація одержаної місцели – 11,7 %.

Показано, що чим вище показники пористості соняшникової макухи (коефіцієнт пористості та фільтрації), тим кращою є перколяція етилового спирту і вище значення коефіцієнту внутрішньої дифузії, що, в свою чергу, спричиняє зниження залишкової олійності макухи.

Значення коефіцієнта внутрішньої дифузії під час спиртової екстракції виявляється приблизно у 2 рази вищим, ніж за умов гексанової екстракції гранульованої соняшникової макухи.

Література

- Мхитарьянц, Л. А. Технология отрасли (Производство растительных масел) [Текст] / Л. А. Мхитарьянц, Е. П. Корнена, Е. В. Мартовщук, С. К. Мустафаев; под общ. ред. Е. П. Корненой. – СПб : ГИОРД, 2009. – 352 с.
- Осейко, М. І. Технологія рослинних олій: Підручник [Текст] / М. І. Осейко. – К. : Варта. – 2006. – 280 с.
- GRAS Notification for Ethanol [Electronic resource] / United States food and drug administration, Frito Lay, Inc. – Washington : FDA, 2004. – № 151. – Available at: http://www.accessdata.fda.gov/scripts/fen/gras_notice/grn0151.pdf
- Остроушко, В. Л. Технологічні аспекти процесу екстракції рослинних олій [Текст] / В. Л. Остроушко, В. Ю. Папченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – № 34. – С. 117–120.
- Петік, П. Ф. Використання альтернативних розчинників для екстракції рослинних олій [Текст] / П. Ф. Петік // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2014. – № 2. – С. 77–85.
- Программа развития спиртовой, ликеро-водочной и винодельческой отраслей на 2003–2007 г. [Текст] / затв. Постановою Кабміну України від 01 квітня 2013 р. – № 451.
- Демидов, И. Н. Новые технологические процессы в масложировой промышленности [Текст] / И. Н. Демидов // Збірник праць УкрНДІОЖ УААН. – 2008. – Вип. 2. – С. 14–17.
- Hron, R. Bio-Renewable Solvents for Vegetable Oil Extraction [Text] / R. Hron, S. Koltun, A. Cruci // Journal of the American Oil Chemists Society. – 1982. – Vol. 59, Issue 9. – P. 674–678. doi: 10.1007/bf02636034
- Regitanodarde, M. A. B. Sunflower-seed oil extraction with ethanol [Text] / M. A. B. Regitanodarde, U. D. Lima // Journal of the American Oil Chemists Society. – 1986. – Vol. 63, Issue 4. – P. 428–430.

10. Sineiro, F. Ethanol extraction of sunflower oil in a pulsing extractor [Text] / F. Sinciro, H. Domingner, M. F. Nunez, F. M. Le-ma // Journal of the American Oil Chemists Society. – 1998. – Vol. 75, Issue 6. – P. 753–754. doi: 10.1007/s11746-998-0220-7
11. Матюхов, Д. В. Рафинационный эффект этилового спирта в добычании и переработке подсолнечного масла [Текст] / Д. В. Матюхов // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013». – Выпуск 1. Том 4. – Одесса : КУПРИ-ЕНКО, 2013. ЦИТ : 11-0878. – С. 63–68.
12. Матюхов, Д. В. Влияние природы растворителя на процесс экстракции жмыхов подсолнечника [Текст] : матер. межд. науч.-прак. конф. / Д. В. Матюхов // Сборник научных трудов SWorld «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013». – 2013. – Т. 4, Вып. 1. – С. 18–24.
13. Матюхов, Д. В. Кінетика екстрагування етанол розчинних речовин макухової крупки соняшнику [Текст] / Д. В. Матюхов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2013. – № 55. – С. 11–21.
14. Матюхов, Д. В. Вплив технологічних параметрів на результат екстракції макухи соняшнику етиловим спиртом [Текст] / Д. В. Матюхов, Ф. Ф. Гладкий // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2013. – № 2 (18). – С. 132–138.
15. Матюхов, Д. В. Вплив умов етанольної екстракції речовин макухи соняшнику на динаміку процесу [Текст] : матер. межд. науч.-прак. конф. / Д. В. Матюхов // Сборник научных трудов SWorld «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2014». – 2014. – Т. 11, Вып. 1. – С. 51–55.
16. Матюхов, Д. В. Пошук та використання математичної моделі розчинності соняшникової олії в етиловому спирті [Текст] / Д. В. Матюхов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2013. – № 38. – С. 152–155.
17. Спирт этиловый ректификованный. Технические условия: ДСТУ 4221 [Текст] / Чинний від 2003-10-14. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с.
18. Жмыхи и шроты. Определение влаги, жира и протеина методом спектроскопии в ближней инфракрасной области: ГОСТ 30131 [Текст] / Чинний від 1997-01-01. – Минск : Стандартинформ, 1996. – 19 с.
19. Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности. Т. 2. [Текст] / под ред. В. П. Ржехина, А. Г. Сергеева. – Л. : НПО «Масложирпром», 1964. – 408 с.
20. Мазур, О. В. Методика определения пористости и удельной поверхности жмыха масличных культур [Текст] / О. В. Мазур, С. Л. Евтушенко, Н. Г. Катасонова, О. А. Литвиненко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2013. – № 16 (989). – С. 146–150.
21. Белобродов, В. В. Основные процессы производства растительных масел [Текст] / В. В. Белобродов. – М. : Пищевая промышленность, 1966. – 478 с.
22. Лиснянский, В. М. Экстрагирование в системе твердое тело-жидкость [Текст] / В. М. Лиснянский, Г. А. Аксельруд. – Л. : Химия, 1974. – 256 с.
23. Лыков, А. В. Теория переноса энергии и вещества [Текст] / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. – Минск : Изд-во АНБССР, 1959. – 330 с.
24. Мазур, О. В. Удосконалення технології підготовки соняшникової макухи до видобування олії [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.06 О. В. Мазур. – Технологія жирів, ефірних масел і парфумерно-косметичних продуктів. – Харків, 2013. – 160 с.